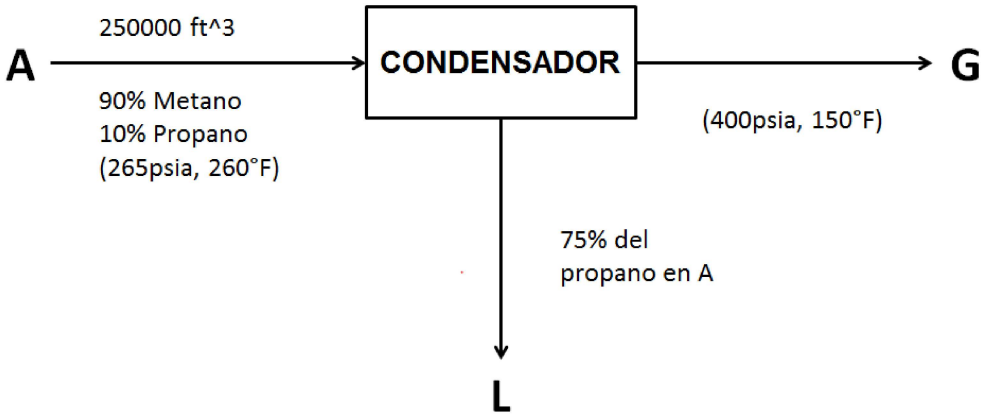
Se tienen 250000ft^3 de gas a 265psia y 260°F. La composición en volumen del gas es de 90 % de metano y 10 % de propano. El gas es sometido a una presión de 400psia y 150°F en una planta compresora y por este efecto se separa el 75 % del propano en forma líquida

a) El volumen del gas que sale de la planta compresora a 400 psia y 150 °F.

b) La cantidad en libras del propano en forma líquida que se separa.

Utilice la ecuación generalizada de dos parámetros.



Para responder a la **PARTE A**, es necesario saber que, en el caso de los gases, el volumen de gas es totalmente equivalente a una cantidad de moles o de masa. Siguiendo esta lógica, a partir del volumen de gas que entra por alimentación a la planta compresora (condensador), el cual llamaremos **A**, tendremos que se dividirá en dos flujos, uno líquido **L** (condensado de propano) y uno gaseoso **G** (mezcla de metano y propano no condensado).

Según la ley de conservación de la materia, todo lo que entra a la planta compresora debe salir, y si entran 250000ft^3, que tiene un equivalente en n_A moles, y además sabemos que sale en forma líquida 75 % del propano en **A**, que llamaremos n_L, significa que la materia restante, es decir, el propano no condensado y todo el metano en **A** deben ir a algún lugar, y este lugar es un flujo gaseoso que contiene propano y metano. En forma de ecuación:

$$n_A = n_L + n_G \tag{1}$$

Es importante, antes de comenzar el problema, fijar en qué unidades vamos a trabajar. Puesto que el problema tiene todas las unidades en sistema ingles (ft^3, psia, lbmol, R), entonces trabajaremos en ese sistema.

`Otro dato importante es que, en el caso de los gases, los porcentajes volumétricos de los componentes de la mezcla serán exactamente iguales a porcentajes molares para la misma mezcla.`

Detallemos qué datos podemos averiguar de esta igualdad. En primer lugar, se pueden encontrar los moles en **A**, esto se puede lograr si encontramos un volumen molar de mezcla, ya que tenemos el volumen de mezcla que entra, podemos utilizar la ecuación:

$$\bar{V} = \frac{V}{n} \tag{2}$$

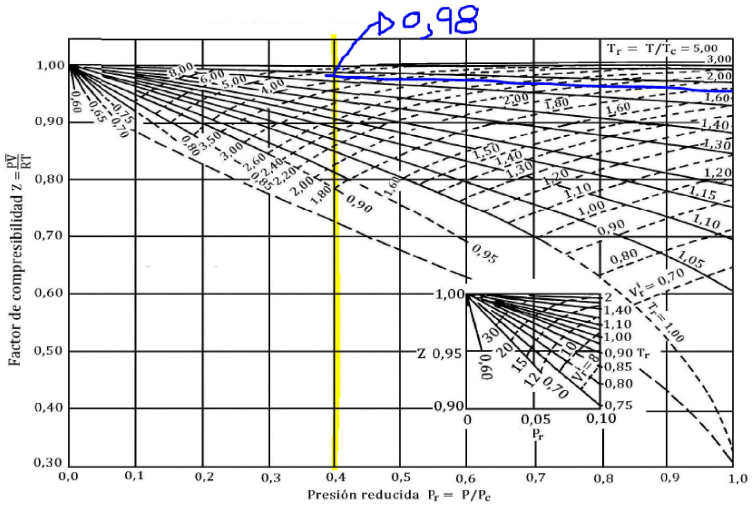
Para encontrar n_A.

Conocido esto, comenzamos por averiguar este volumen molar. El flujo de gas en **A** es una mezcla, por lo que se procede al calculo de T_{sc} y P_{sc} para encontrar la temperatura y presión pseudoreducida y por tanto un Z en **A**, puesto que utilizaremos la ecuación de 2 parámetros:

	y_i	Pc (atm)	Tc (K)
CH_4	0.9	45.8	190.66
C_3H_8	0.1	42.01	369.97
		45.42	208.59

Se encuentra Z_A:

$$\begin{cases} P_{sr} = \frac{265psia}{45{,}42atm \cdot \frac{14.696psia}{1atm}} = 0{,}4 \\ T_{sr} = \frac{(260+459{,}67)R}{208{,}59K \cdot \frac{1{,}8R}{1K}} = 1{,}92 \end{cases} \Rightarrow Z_A \approx 0{,}98$$



Ahora se calcula el volumen molar de la mezcla:

$$\bar{V}_A = \frac{Z_A R T_A}{P_A} = \frac{0{,}98 \cdot 10{,}731 \frac{psia \cdot ft^3}{lbmol \cdot R} \cdot 719{,}67R}{265psia} = 28{,}5597 \frac{ft^3}{lbmol}$$

A partir de la ecuación (2):

$$n_A = \frac{V_A}{\bar{V}_A} = \frac{250000 ft^3}{28{,}5597 \frac{ft^3}{lbmol}} = 8753{,}59 lbmol$$

A partir del flujo de alimentación, podemos saber el flujo líquido que sale del compresor, ¿cómo? El problema nos da una relación entre el propano en **A** y el propano en **L**, ¿cómo podemos expresar esto matemáticamente?

$$n_L = 0{,}75 \cdot n_{C_3H_8,A} \tag{3}$$

Esto es, el número de moles en **L** va a ser exactamente igual al 75 % de moles de propano $n_{C_3H_8}$ en alimentación (por eso el 'coma A'). Ahora, ¿cuánto es $n_{C_3H_8,A}$? ¿Cuántos moles de propano hay en **A**? Estos serán el 10 % de los moles que hay en **A**

$$n_{C_3H_8,A} = y_{C_3H_8,A} \cdot n_A = 0{,}1 \cdot 8753{,}5934 lbmol = 875{,}36 lbmol$$

A partir de la ecuación (3):

$$n_L = 0{,}75 \cdot 875{,}36 lbmol = 656{,}52 lbmol$$

Ahora despejamos n_G de la ecuación (1) para al fin obtener los moles de gas en esta corriente:

$$n_G = n_A - n_L = (8753{,}59 - 656{,}52) lbmol = 8097{,}07 lbmol$$

Tenemos los moles de gas en G, sin embargo, necesitamos es el volumen de gas en esa corriente, ¿qué nos falta, sabiendo que esta corriente es una mezcla? Pues claramente no tenemos las fracciones molares de la mezcla, ¿cómo obtenerlas? Pues necesitaríamos los moles de todos los componentes, o los moles de $n-1$ componentes y la cantidad de moles de mezcla.

En este caso, tenemos la cantidad de moles de mezcla y podemos obtener la cantidad de moles de uno de los componentes, ¿cuál de estos? El de metano, pues es más fácil averiguar su valor.

Piensa lo siguiente, una cierta cantidad de metano y propano entran por alimentación al compresor, parte del propano se separa de la mezcla de alimentación y sale una mezcla como gas, ¿cuál de los dos componentes de la mezcla de alimentación no se ha alterado? Pues los moles de metano.

Con lo anterior en mente, podemos concluir que:

$$n_{CH_4,G} = n_{CH_4,A} = y_{CH_4,A} \cdot n_A = 0{,}9 \cdot 8753{,}59 = 7878{,}23 lbmol$$

Con esto podemos ahora calcular la fracción molar de metano en **G**:

$$y_{CH_4,G} = \frac{n_{CH_4,G}}{n_G} = \frac{7878{,}23 lbmol}{8097{,}07 lbmol} = 0{,}97$$

La fracción de propano se obtiene por diferencia:

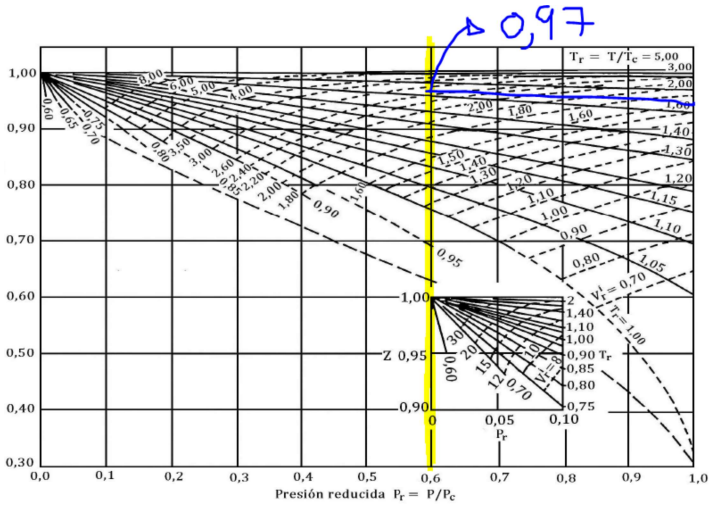
$$y_{C_3H_8,G} = 1 - y_{CH_4,G} = 0{,}03$$

¿Por qué hacíamos todo esto? Para encontrar el volumen que sale por el flujo **G** sabiendo que salen n_G moles, y nos faltaba la composición de la mezcla, ya que la obtenemos, procedemos al cálculo de T_{sc} y P_{sc} para hallar un Z_G:

	y_i	Pc (atm)	Tc (K)
CH_4	0.97	45.8	190.66
C_3H_8	0.03	42.01	369.97
		45.67	196.04

Se encuentra Z_G tomando en cuenta que el flujo **G** está en condiciones de 400psia y 150°F:

$$\begin{cases} P_{sr} = \frac{400psia}{45{,}67atm \cdot \frac{14{,}696psia}{1atm}} = 0{,}6 \\ T_{sr} = \frac{(150+459{,}67)R}{196{,}04K \cdot \frac{1{,}8R}{1K}} = 1{,}73 \end{cases} \Rightarrow Z_G \approx 0{,}97$$



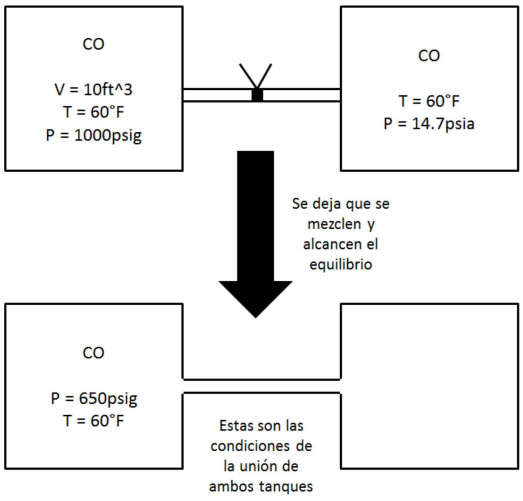
Ahora se posible obtener el volumen del gas en **G**:

$$V_G = \frac{n_G Z_G R T_G}{P_G} = \frac{8097{,}07lbmol \cdot 0{,}97 \cdot 10{,}731 \frac{psia \cdot ft^3}{lbmol \cdot R} \cdot 609{,}67R}{400psia} \approx 128462ft^3$$

La **PARTE B** es muy simple pues ya se encontró parte del problema durante la resolución de la parte A. Esto es simplemente encontrar la masa en lbm que sale por **L**:

$$m_L = n_L \cdot PM_{C_3H_8} = 656{,}52lbmol \cdot \frac{44lbm\,C_3H_8}{1lbmol\,C_3H_8} = 28886{,}88lbm\,C_3H_8$$

Un tanque de 10 pies cúbicos contiene CO a 60ºF y 1000 psig. Este tanque se conecta a otro contenedor de capacidad desconocida, que contiene el mismo gas a 60ºF y 14,7 psia. Se deja que ambos tanques alcancen una condición de equilibrio a 650 psig y 60ºF. Determine la capacidad del segundo tanque y la densidad del gas en el equilibrio.



Si se analiza detenidamente el problema, se verá que no existen elementos suficientes para el cálculo del volumen del segundo tanque de forma directa. No se tiene información de cantidad de materia en este tanque, ni es posible hacer una resta entre la materia que queda en el equilibrio menos la materia que está en el primer tanque, por lo que tendremos que atacar este problema de forma indirecta.

Comencemos con la siguiente igualdad sobre los moles en el equilibrio:

$$n_e = n_{T,1} + n_{T,2}$$

Los moles en el equilibrio serán iguales a la suma de moles de ambos tanques. Utilicemos la siguiente definición: $\bar{V} = \frac{V}{n}$. Reemplacemos los moles de la ecuación anterior con volúmenes y volúmenes molares de la siguiente forma:

$$n_e = n_{T,1} + n_{T,2} \Rightarrow \frac{V_e}{\bar{V}_e} = \frac{V_{T,1}}{\bar{V}_{T,1}} + \frac{V_{T,2}}{\bar{V}_{T,2}}$$

Vea que $V_e = V_{T,1} + V_{T,2}$:

$$\frac{V_{T,1} + V_{T,2}}{\bar{V}_e} = \frac{V_{T,1}}{\bar{V}_{T,1}} + \frac{V_{T,2}}{\bar{V}_{T,2}}$$

Despejamos $V_{T,2}$ ya que este es el volumen que nos interesa.

$$\frac{V_{T,1}}{\bar{V}_e} + \frac{V_{T,2}}{\bar{V}_e} = \frac{V_{T,1}}{\bar{V}_{T,1}} + \frac{V_{T,2}}{\bar{V}_{T,2}} \Rightarrow \frac{V_{T,2}}{\bar{V}_e} - \frac{V_{T,2}}{\bar{V}_{T,2}} = \frac{V_{T,1}}{\bar{V}_{T,1}} - \frac{V_{T,1}}{\bar{V}_e}$$

Factorizamos:

$$V_{T,2}\left(\frac{1}{\bar{V}_e}-\frac{1}{\bar{V}_{T,2}}\right)=V_{T,1}\left(\frac{1}{\bar{V}_{T,1}}-\frac{1}{\bar{V}_e}\right)\Rightarrow V_{T,2}=V_{T,1}\frac{\left(\frac{1}{\bar{V}_{T,1}}-\frac{1}{\bar{V}_e}\right)}{\left(\frac{1}{\bar{V}_e}-\frac{1}{\bar{V}_{T,2}}\right)}$$

Realicemos los cálculos que quedan en orden, tomando en cuenta que $P_c = 34{,}53atm = 507{,}45psia$ y $T_c = 132{,}9K = 239{,}22R$:

Calculo de $\bar{V}_{T,1}$

Para el primer tanque fuera del equilibrio tenemos las condiciones: $P = 1014{,}696psia$ y $T = 519{,}67R$. Sus condiciones reducidas y Z son:

$$\begin{cases} P_r = \frac{1014{,}696psia}{507{,}45psia} = 2 \\ T_r = \frac{519{,}67R}{239{,}22R} = 2{,}17 \end{cases} \Rightarrow Z \approx 0{,}98$$

$$\bar{V}_{T,1} = \frac{ZRT_{T,1}}{P_{T,1}} = \frac{0{,}98 \cdot 10{,}731\frac{psia \cdot ft^3}{lbmol \cdot R}519{,}67R}{1014{,}696psia} = 5{,}39\frac{ft^3}{lbmol}$$

Calculo de $\bar{V}_{T,2}$

Para el primer tanque fuera del equilibrio tenemos las condiciones: $P = 14{,}7psia$ y $T = 519{,}67R$. Sus condiciones reducidas y Z son:

$$\begin{cases} P_r = \frac{14{,}7}{507{,}45} = 0{,}03 \\ T_r = \frac{519{,}67R}{239{,}22R} = 2{,}17 \end{cases} \Rightarrow Z \approx 1$$

Luego:

$$\bar{V}_{T,2} = \frac{ZRT_{T,2}}{P_{T,2}} == \frac{1 \cdot 10{,}731\frac{psia \cdot ft^3}{lbmol \cdot R}519{,}67R}{14{,}7psia} = 379{,}36\frac{ft^3}{lbmol}$$

Calculo de $\bar{V}_e$

Para el primer tanque fuera del equilibrio tenemos las condiciones: $P = 664{,}696psia$ y $T = 519{,}67R$. Sus condiciones reducidas y Z son:

$$\begin{cases} P_r = \frac{664{,}696psia}{507{,}45} = 1{,}31 \\ T_r = \frac{519{,}67R}{239{,}22R} = 2{,}17 \end{cases} \Rightarrow Z \approx 0{,}99$$

$$\bar{V}_e = \frac{ZRT_e}{P_e} = \frac{0{,}99 \cdot 10{,}731\frac{psia \cdot ft^3}{lbmol \cdot R}519{,}67R}{664{,}696psia} = 8{,}31\frac{ft^3}{lbmol}$$

Calculo de $V_{T,2}$

Partimos de la ecuación deducida para el volumen del segundo tanque antes encontrada y reemplazamos los valores calculados:

$$V_{T,2} = 10ft^3\frac{\left(\frac{1}{5{,}39}-\frac{1}{8{,}31}\right)}{\left(\frac{1}{8{,}31}-\frac{1}{379{,}36}\right)} = 5{,}54ft^3$$

Densidad del gas en el equilibrio

$$\rho = \frac{1}{\overline{V}_e} \cdot PM = \frac{1}{8{,}31\frac{ft^3}{lbmol}} \cdot 28\frac{lbm}{lbmol} = 3{,}37\frac{lbm}{ft^3}$$